

**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : H01L 41/083, 41/047	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/57497 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 28. September 2000 (28.09.00)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/03283</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 13. Oktober 1999 (13.10.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 199 13 271.2 24. März 1999 (24.03.99) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 32 02 20, D-70442 Stuttgart (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HEINZ, Rudolf [DE/DE]; Eltinger Weg 26, D-71272 Renningen (DE). HENNEKEN, Lothar [DE/DE]; Otto-Gessler-Strasse 15, D-71638 Ludwigsburg (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht.</p>	

(54) Title: PIEZOELECTRIC ACTUATOR

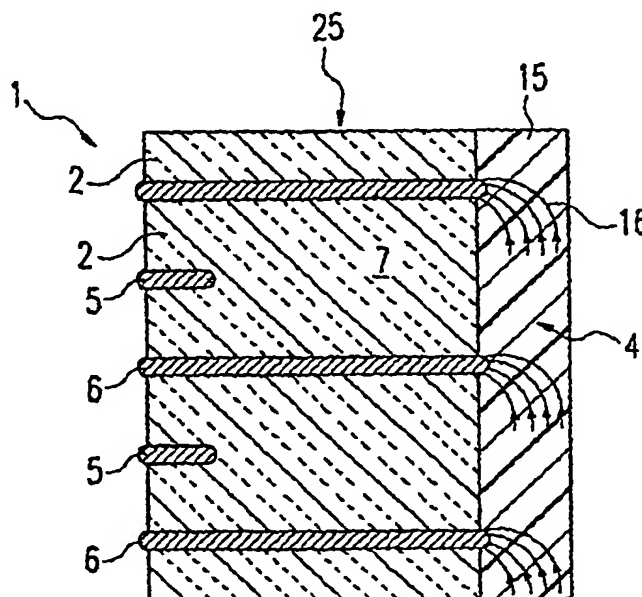
(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHER AKTOR

(57) Abstract

The invention relates to a piezoelectric actuator (1) comprising a plurality of plates (2) made of a piezoelectric material, which are disposed in such a way that they form a stack (25) in the direction of stacking, a plurality of flat inner electrodes (5, 6), alternatingly disposed with the plates (2) made of piezoelectric material and at least two outer electrodes (3, 4) placed on the outer side of the stack along the direction of stacking, wherein the inner electrodes (5, 6) are alternatingly connected to one of the outer electrodes (3, 4) by means of a contact area. According to the invention, the outer electrodes (3, 4) are placed in the form of a coating made of an elastic, electrically conductive polymeric material (15) on the outer side of the stack (25).

(57) Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor (1) mit einer Vielzahl von Scheiben (2) aus piezoelektrischem Material, die zu einem Stapel (25) in einer Stapelrichtung angeordnet sind, einer Vielzahl von flächigen Innenelektroden (5, 6), die mit den Scheiben (2) aus piezoelektrischem Material alternierend angeordnet sind, und wenigstens zwei entlang der Stapelrichtung an der Aussenseite des Stapels aufgetragenen Aussen Elektroden (3, 4), wobei die Innenelektroden (5, 6) alternierend mit jeweils einer der Aussen Elektroden (3, 4) über einen Kontaktbereich verbunden sind. Die Aussen Elektroden (3, 4) sind erfindungsgemäss in Form einer Beschichtung aus einem elastischen, elektrisch leitfähigen Polymaterial (15) auf der Aussenseite des Stapels (25) aufgebracht.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland		Republik Mazedonien	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		Amerika
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun		Korea	PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

5

10

Piezoelektrischer Aktor

Stand der Technik

- 15 Die Erfindung geht aus von einem piezoelektrischen Aktor nach der Gattung des Anspruchs 1. Ein piezoelektrischer Aktor zum Verstellen eines ultraschnellen Ventiles ist z. B. aus der DE 37 136 97 A1 bekannt.
- 20 Fig. 1 zeigt einen im Stand der Technik bekannten piezoelektrischen Aktor 1 in Schnittansicht. Dabei besteht der piezoelektrische Aktor aus Scheiben 2 aus einem piezoelektrischen Material, die in Form eines Stapels 25 übereinander angeordnet sind. Zwischen den
- 25 aufeinanderfolgenden Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material sind jeweils Innenelektroden 5 bzw. 6 angeordnet. Die Innenelektroden 5 bzw. 6 kontaktieren wechselseitig auf der Außenseite des Stapels 25 der Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material angeordnete Außenelektroden 3
- 30 bzw. 4. Die Außenelektroden 3 bzw. 4 sind jeweils mit einem Anschluß 11a bzw. 11b einer Steuerspannungsquelle 10 elektrisch verbunden. Die Innenelektroden 5 bzw. 6 sind somit über die Außenelektroden 3 bzw. 4 alternierend mit den Anschlüssen 11a bzw. 11b der Steuerspannungsquelle 10
- 35 verbunden.

In Fig. 2A bzw. Fig. 2B ist der in Fig. 1 eingezeichnete kreisförmige Ausschnitt eines Randbereiches des piezoelektrischen Aktors 1 in vergrößerter Darstellung

wiedergegeben. In dem vergrößert dargestellten Randbereich ist zu unterscheiden zwischen dem Bereich 7 und dem Bereich 8. In dem Bereich 7 ist die Innenelektrode 5 nicht bis zur Außenelektrode 4 durchkontaktiert und die Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material sind in dem Bereich 7 durchgesintert. In dem Bereich 8 ist die Innenelektrode 6 mit der Außenelektrode 4 verbunden. Die Haftfestigkeit im Bereich 8 zwischen einer Scheibe 2 aus piezoelektrischem Material und einer Innenelektrode 6 ist um den Faktor 3 bis 5 kleiner als die Haftfestigkeit in dem Bereich 7 zwischen den durchgesinterten Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material.

Fig. 2A zeigt dabei den Zustand des piezoelektrischen Aktors 1, ohne daß ein elektrisches Feld E angelegt ist. In Fig. 2B kommt es nach Beaufschlagung mit einer Steuerspannung aufgrund des piezoelektrischen Effektes im zentralen Bereich des Aktors 1 zu einer Dehnung. Im Randbereich 7, in dem keine entgegengesetzt gepolten Innenelektroden einander gegenüber angeordnet sind, sondern die Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material durchgesintert sind, kommt es jedoch nicht zu einer piezoelektrischen Dehnung. Infolge der Dehnung im zentralen Bereich des piezoelektrischen Aktors 1 treten im Randbereich Zugspannungen auf, wobei es häufig zu Delaminationen 9 in dem Kontaktbereich zwischen den Innenelektroden 6 und den Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material im Bereich 8 kommt.

Wie in Fig. 2B dargestellt, setzen sich diese Delaminationen 9 bis in den Bereich der Außenelektrode 4 fort. Ein solcher sich in die Außenelektrode 4 fortsetzender Riß 9' beeinträchtigt die Kontaktierung der Innenelektroden 6 erheblich. Sofern sich der Riß 9' durch die Außenelektrode 4 vollständig fortsetzt, wird der Kontakt in der Außenelektrode 4 unterbrochen und ein Teil der Innenelektroden 8 nicht mehr mit Spannung beaufschlagt. Dadurch wird die Gesamtdehnung bzw. der Hub des Aktors 1 erheblich verringert.

Um bei auftretenden Rissen 9' die Funktionsfähigkeit des Aktors 1 weiter zu gewährleisten, sind im Stand der Technik verschiedene Vorschläge gemacht worden.

5 Vorteile der Erfindung

Der piezoelektrische Aktor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, daß die in Form einer Beschichtung aus elektrisch leitfähigem Polymermaterial auf der Außenseite des Stapels aufgebrachten Außenelektroden elastisch sind. Die infolge einer Spannungsbeaufschlagung im Randbereich einer Außenelektrode auftretenden Zugspannungen werden von der elastischen Außenelektrode bei dem Aktor gemäß der vorliegenden Erfindung aufgenommen, ohne daß es zu Einrissen oder Abrissen in der Außenelektrode kommt. Ein ggf. zwischen Innenelektrode und einer Scheibe aus piezoelektrischem Material auftretender Riß wird folglich an der elastischen Außenelektrode aufgehalten. Ein mit elastischen Außenelektroden versehener piezoelektrischer Aktor löst auf einfache und zuverlässige Weise die bei piezoelektrischen Aktoren in den Außenelektroden auftretende Rißproblematik.

Äußerst vorteilhaft entfällt weiterhin das beim Herstellen eines herkömmlichen Aktors 1 bislang erforderliche Anätzen und Bekeimen der Aktorausfläche, was z. B. bei der Aufbringung einer Nickelaußenelektrode erforderlich ist. Bei dem im Stand der Technik erforderlichen Anätzen besteht immer die Gefahr des Unterätzens und eines nachfolgenden Ablösens der Außenelektrode im Betriebszustand des Aktors.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Anspruch 1 angegebenen piezoelektrischen Aktors möglich.

35

Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 eine Schnittdarstellung eines im Stand der Technik bekannten piezoelektrischen Aktors,
- Fig. 2A eine vergrößerte Schnittdarstellung des Ausschnitts IIA in Fig. 1, wobei an den Aktor
10 kein elektrisches Feld E angelegt ist,
- Fig. 2B eine vergrößerte Schnittdarstellung des Ausschnitts IIB in Fig. 1, wobei an den Aktor
15 ein elektrisches Feld E ($E > 0$) angelegt ist,
- Fig. 3 eine Schnittdarstellung eines Randbereiches des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors mit einer Außenelektrode aus einem elastischen, elektrisch leitfähigen
20 Polymermaterial,
- Fig. 4 eine Schnittdarstellung eines Randbereiches einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors, wobei in dem
25 elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterial eine Siebelektrode angeordnet ist,
- Fig. 5 eine Schnittdarstellung eines Randbereiches einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors, wobei die
30 Innenelektroden in dem Kontaktbereich mit dem elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterial zylinderförmige Kontakte
35 aufweisen,
- Fig. 6 eine Schnittdarstellung eines Randbereiches einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors, wobei auf dem

elastischen, elektrisch leitfähigen
Polymermaterial eine Wellelektrode
aufgebracht ist,

5 Fig. 7 eine Draufsicht auf eine Außenelektrode eines
erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors,
wobei in dem elastischen, elektrisch
leitfähigen Polymermaterial mehrere gewellte
Drahtelektroden angeordnet sind,

10

Fig. 8 eine Draufsicht auf eine Außenelektrode eines
erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors,
wobei in dem elastischen, elektrisch
leitfähigen Polymermaterial eine
15 Siebelektrode mit konstanter Breite
angeordnet ist,

Fig. 9 eine Draufsicht auf eine Außenelektrode eines
erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktors,
wobei in dem elastischen, elektrisch
20 leitfähigen Polymermaterial eine
Siebelektrode mit einer Breite, die in eine
Stapelrichtung abnimmt, angeordnet ist,

20

25 Fig. 10 eine perspektivische Ansicht einer
Außenelektrode eines erfindungsgemäßen
piezoelektrischen Aktors, wobei das
elastische, elektrisch leitfähige
Polymermaterial über die gesamte Fläche eine
30 konstante Dicke aufweist, und

30

Fig. 11 eine perspektivische Ansicht einer
Außenelektrode eines erfindungsgemäßen
piezoelektrischen Aktors, wobei das
35 elastische, elektrisch leitfähige
Polymermaterial eine Dicke aufweist, die
entlang einer Stapelrichtung abnimmt.

35

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Fig. 3 ist ein Ausschnitt eines Elektrodenrandbereiches eines piezoelektrischen Aktors 1 in Schnittdarstellung gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die Innenelektroden 5 bzw. 6 sind in alternierender Weise angeordnet und jeweils durch eine Scheibe 2 aus piezoelektrischem Material getrennt. Die Innenelektroden 6 sind bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 mit der Außenelektrode aus einem elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15 verbunden.

Als piezoelektrisches Material für die Scheiben 2 können z.B. Quarz, Turmalin, Bariumtitanat (BaTiO_3) oder aber auch spezielle Piezokeramiken wie beispielsweise ein Bleizirkonat-Bleititanatsystem (PZT-System) (PbZrO_3 - PbTiO_3) eingesetzt werden. Gemäß der vorliegenden Erfindung kann jedes piezoelektrische Material wie beispielsweise auch ein organisches Salz wie Kalium-(Natrium)tartrat, Ethylendiamintartrat oder auch Polymere wie PVDF, PVF, etc. verwendet werden.

Als elastische, elektrisch leitfähige Polymere können sämtliche Polymere verwendet werden, die durch Zumischung von leitfähigen Füllstoffen elektrisch leitfähig werden.

Die Polymere können dabei mit leitfähigen Füllstoffen wie beispielsweise Ruß, Kohlenstofffasern, nickelbeschichtetem Glimmer, Stahlfasern, Aluminiumplättchen, Silberpulver, Silberflitter, Kupferpulver, Kupferflitter, Goldpulver oder goldbeschichtete Polymerkugeln versetzt werden, um den gewünschten Grad an elektrischer Leitfähigkeit zu erzeugen.

Die Polymere können aber auch Polymere mit einer intrinsischen elektrischen Leitfähigkeit wie beispielsweise cis- oder trans-Polyacetylen, Poly(p-phenylen), Polythiophen, Polypyrrol, etc. enthalten. Diese intrinsisch elektrisch leitfähigen Polymere können dann durch Behandeln mit starken Oxidations- oder Reduktionsmitteln wie beispielsweise Brom, Jod, Silberperchlorat, Bortrifluorid,

Naphthalinnatrium, Arsenpentafluorid, etc. erhalten (dotiert) werden.

5 Im Sinne der Erfindung werden bevorzugt Siliconelastomere, die mit metallischen Füllstoffen wie beispielsweise Silber dotiert sind, verwendet. Weiterhin ist es bevorzugt, thermoplastische Copolymere als zu dotierendes Polymermaterial für die Außenelektrode zu verwenden.

10 Die Innenelektroden 5, 6 sind regelmäßig aus Metallen gefertigt, die einen Schmelzpunkt aufweisen, der oberhalb der Sintertemperatur der verwendeten piezoelektrischen Materialien liegt wie beispielsweise Platin, Silber, Kupfer, Silber-Palladiumlegierungen, etc.. Weiterhin können die
15 Innenelektroden 5, 6 durch bekannte herkömmliche Verfahren wie Siebdrucktechnik, Sputtern, Aufdampfen, etc. auf die Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material aufgebracht werden.

20 In Fig. 3 ist weiterhin der Stromlinienfluß in dem elastischen, elektrisch leitfähigen Polymer 15 zu der Innenelektrode 6 durch die Stromlinien 16 dargestellt. Der Anschluß der Außenelektrode 4 an die Steuerspannungsquelle 10 ist dabei nicht dargestellt.

25

Bei Verwendung von stegförmigen Innenelektroden, wie in Fig. 3 anhand der Innenelektroden 6 gezeigt, die in das elastische, elektrisch leitfähige Polymer 15 stegförmig hineinragen, wird die Stromdichte, die durch die Stromlinien
30 16 veranschaulicht ist, an den Innenelektroden 6 verringert. Dadurch werden vorteilhaft lokale Erwärmungen im Kontaktbereich zwischen der Innenelektrode 6 und dem elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterial 15 verringert. Eine Vermeidung von hohen Temperaturen in dem
35 vorgenannten Kontaktbereich bewirkt eine Verlängerung der Lebenszeit des Aktors, da vorzeitige Alterungserscheinungen bei dem Polymermaterial 15 vermieden werden.

In Fig. 4 ist eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Gemäß Fig. 4 ist in der elastischen, elektrisch leitfähigen Polymerschicht 15 eine Siebelektrode 14 vorgesehen. Sofern es zu einer Rißbildung 9' zwischen Innenelektrode 6 und einer Scheibe 2 aus piezoelektrischem Material gekommen ist und sich dieser Riß 9' in die Außenelektrode 4 aus dem elastischen, elektrisch leitfähigen Material 15 fortgesetzt haben sollte, so wird die Fortsetzung des Risses 9' an der Siebelektrode 14 gestoppt. Weiterhin erlaubt die erfindungsgemäße Ausführungsform gemäß Fig. 4 eine günstigere Führung der Stromlinien 16. Wie bereits zu der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform erläutert, werden so in Verbindung mit einer in das Polymermaterial 15 hineinragenden Stegelektrode 6 lokale Erwärmungen in dem Polymermaterial 15 vermieden, was letztendlich zu einer Lebenszeitverlängerung des piezoelektrischen Aktors 1 führt.

In Fig. 5 ist eine weitere bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die in das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 hineinragenden Innenelektroden 6 sind in dem Kontaktbereich mit dem Polymermaterial 15 mit zylinderförmigen Kontakten 17 versehen. Diese zylinderförmigen Kontakte 17 erlauben, bedingt durch die Oberflächenvergrößerung, eine weitere Herabsetzung des an der Innenelektrode 6 pro Flächeneinheit anliegenden Stromflusses (Herabsetzung der Stromdichte). Durch die zusätzliche Anordnung eines metallischen Leiters, wie der in Fig. 5 beispielhaft gezeigten Wellelektrode 12, kann die Stromlinienführung weiter verbessert werden. Anstelle der Kugelkontakte 17 können jedoch auch weitere Mittel zur Oberflächenvergrößerung an den in das elastische, leitfähige Polymermaterial 15 hineinragenden Innenelektroden 6 vorgesehen sein, die nicht zylinderförmig sind, wie beispielsweise knöpfchenartige, kegelartige, pilzartige oder scheibenartige Aufsätze.

Die in Fig. 4 dargestellten stegartig bzw. in Fig. 5 zylinder- oder knöpfchenartig in das elastische, elektrisch

leitfähige Polymermaterial 15 hineinragenden Innenelektroden 6 können beispielsweise durch gezielten elektrochemischen Aufbau hergestellt werden. Dabei wird der Stapel 25 aus Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material und jeweils zwischen benachbarten Scheiben 2 aufgebrachten Innenelektroden 6 in einer Halterung fixiert und die aufzubauenden Innenelektroden 6, beispielsweise auf der aufzubauenden Seite des Aktors 1 gegenüberliegenden Seite elektrisch kontaktiert und in einem Elektrolysebad unter Abscheidung eines Metalls gezielt aufgebaut.

Es ist natürlich auch möglich, die überstehenden Enden der Innenelektroden 6 unter Verwendung bekannter fotolithographischer Verfahren herzustellen. Dabei wird zunächst auf der Seitenfläche des Aktors 1, an der die Innenelektroden 6 überstehen sollen, eine Maske mit einem entsprechenden Raster aufgebracht. Nach dem gezielten Abscheiden des die Innenelektroden 6 aufbauenden Metalles wird der die Maske aufbauende Film auf herkömmliche Weise aufgelöst. Auf die so hergestellten überstehenden Enden der Innenelektrode 6 wird dann das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 aufgebracht, das wahlweise ein weiteres metallisches Leitelement enthalten kann.

In Fig. 6 ist ein Ausschnitt eines Elektrodenrandbereiches eines weiteren Aktors 1 gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. Das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 ist in Kontakt mit den seitlich an der Aktoraußenseite hervorstehenden Innenelektroden 6. Auf das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 ist eine Wellelektrode 12 aufgebracht. Die Außenelektrode 4 ist dann über einen Anschlußkontakt 24 mit der Steuerspannungsquelle 10 elektrisch verbunden, die nicht dargestellt ist.

Eine weitere beispielhafte Anordnung von metallischen Leitelementen in dem elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15 ist in Fig. 7 gezeigt.

Fig. 7 zeigt eine Draufsicht auf eine entlang einer Stapelaußenseite eines piezoelektrischen Aktors 1 aufgebrachte Außenelektrode 4, wobei in dem elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15 eine oder mehrere Drahtelektroden 23 eingebettet sind.

Es ist selbstverständlich, daß das in das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 eingebettete metallische Leitelement verschiedenartige geometrische Ausprägungen haben kann, wie beispielsweise als Wellblech, Draht oder Welldraht, Streckmetall, Spiralfeder, etc.

Wesentlich ist bei einer zusätzlichen Anordnung eines metallischen Leitelements in dem elastisch, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15, daß das metallische Leitelement keinen direkten Kontakt mit den beispielsweise in das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 stegförmig hineinragenden Innenelektroden 5, 6 hat. Insofern wird der elektrische Kontakt zwischen metallischem Leitelement und den Innenelektroden 5, 6 ausschließlich über das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 bewirkt.

Die Einbringung eines metallischen Leitelementes in das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 bewirkt u. a., daß, wie vorstehend ausgeführt, die Stromlinienführung, wie in den Fig. 4 und Fig. 5 beispielhaft dargestellt, günstiger ist und insofern lokale Überhitzungen an der Kontaktstelle zwischen Innenelektrode 6 und dem elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15 vermieden werden. Insofern werden vorzeitige Alterungserscheinungen bei dem elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15 vermieden. Weiterhin bewirkt die Einbringung eines metallischen Leitelements, daß die Dicke des aufgebrachten elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterials 15 verringert werden kann. Schließlich werden äußerst vorteilhaft an dem metallischen Leitelement sich gegebenenfalls in das Polymermaterial 15 fortsetzende Risse 9' gestoppt.

In Fig. 8 ist eine Draufsicht auf eine entlang einer Stapelrichtung an der Außenseite des Stapels 25 aufgebrachte Außenelektrode 4 gezeigt, wobei in das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 eine Siebelektrode 14 eingebettet ist. Die Siebelektrode 14 weist entlang der Stapelaußenseite des Aktors 1 eine konstante Breite auf. Der elektrische Kontakt mit der Steuerspannungsquelle 10 erfolgt über den elektrischen Anschlußkontakt 24.

10

In Fig. 9 ist eine Draufsicht auf eine Außenelektrode 4 gezeigt, die der von Fig. 8 entspricht. Im Unterschied zu Fig. 8 weist das in das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 eingebettete elektrische Leitelement in Form einer Siebelektrode 14 eine entlang einer Stapelrichtung an der Außenseite des Stapels 25 der Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material abnehmende Breite auf. Der elektrische Kontakt mit der Steuerspannungsquelle 10 wird über den elektrischen Anschlußkontakt 24 an dem breiten Ende 19 der Siebelektrode 14 hergestellt. Diese trapezförmige Ausgestaltung der Form der Siebelektrode 14 trägt dem Umstand Rechnung, daß die Stromdichte an dem dem elektrischen Anschlußkontakt 24 abweisenden schmalen Ende 18 der Siebelektrode 14 kleiner sein kann. Die in Fig. 9 dargestellte beispielhafte trapezförmige Ausgestaltung des metallischen Leitelements erlaubt äußerst vorteilhaft eine Einsparung des möglicherweise kostenintensiven metallischen Elektrodenmaterials. Selbstverständlich kann das in Fig. 9 beispielhaft gezeigte metallische Leitelement auch massiv wie beispielsweise in Form einer Wellelektrode aus einem Wellblech gebildet sein.

Fig. 10 zeigt eine perspektivische Ansicht einer entlang einer Stapelrichtung an der Außenseite des Stapels 25 der Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material aufgebrachten Außenelektrode 4 aus einem elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15. Das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 weist dabei über die gesamte Länge und Breite eine konstante Dicke 20 auf. Das

elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial 15 ist über den elektrischen Anschlußkontakt 24 mit der Steuerspannungsquelle 10 verbunden.

5 Fig. 11 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Außenelektrode 4, die weitgehend der von Fig. 10 entspricht, wobei jedoch die Dicke 20 des elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterials 15 entlang einer Stapelrichtung abnimmt. Dabei ist die Steuerspannungsquelle 10 über den elektrischen Anschlußkontakt 24 mit dem dicken Ende 21 des elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterials 15 verbunden. Wie bereits oben zu Fig. 9 angemerkt, ist die Stromdichte an der dem elektrischen Anschlußkontakt 24 abgewandten Seite, d. h. an dem dünnen Ende 22 des elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterials 15 geringer. Eine gemäß Fig. 11 ausgestaltete Außenelektrode erlaubt vorteilhaft die Einsparung von elastischem, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15 und somit eine kostengünstigere Herstellung des erfindungsgemäßen Aktors 1.

20

Selbstverständlich können beispielsweise die in Fig. 9 und Fig. 11 dargestellten beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auch miteinander kombiniert werden, so daß die Dicke des elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterials 15 entlang der Stapelrichtung an der Außenseite des Stapels der Scheiben 2 aus piezoelektrischem Material abnimmt, in der auch die Breite eines in dem elastischen, elektrisch leitfähigem Polymermaterial 15 angeordneten metallischen Leitelementes abnimmt. Die Steuerspannungsquelle 10 ist dann sowohl mit dem dicken Ende 21 des elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterials 15 als auch mit dem breiten Ende 19 beispielsweise einer eingebetteten Siebelektrode 14 elektrisch verbunden. Durch diese äußerst vorteilhafte Kombination ist es möglich, sowohl Elektrodenmaterial als auch Polymermaterial 15 einzusparen. Weiterhin sind selbstverständlich auch weitere Kombinationen der in den Fig. 8 bis 11 dargestellten Ausführungsformen möglich.

35

Des weiteren werden von der vorliegenden Erfindung auch andere geometrische Grundformen wie beispielsweise Aktoren mit einer hexagonalen oder octagonalen Grundfläche etc. erfaßt, an deren Stapelaußenseite Außenelektroden 4 aus
5 einem elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterial 15 mit oder ohne eingebettetem oder aufgebrachttem metallischen Leiter angeordnet sind.

Der erfindungsgemäße piezoelektrische Aktor 1 kann
10 vorteilhaft als Stellglied verwendet werden. Insbesondere ist der erfindungsgemäße piezoelektrische Aktor 1 in Benzindirekteinspritzsystemen und in Dieseleinspritzsystemen wie Common-Rail-Einspritzsystemen oder Unit-Injection-Systemen (Pumpendüseneinheiten) verwendbar.

15

5

10

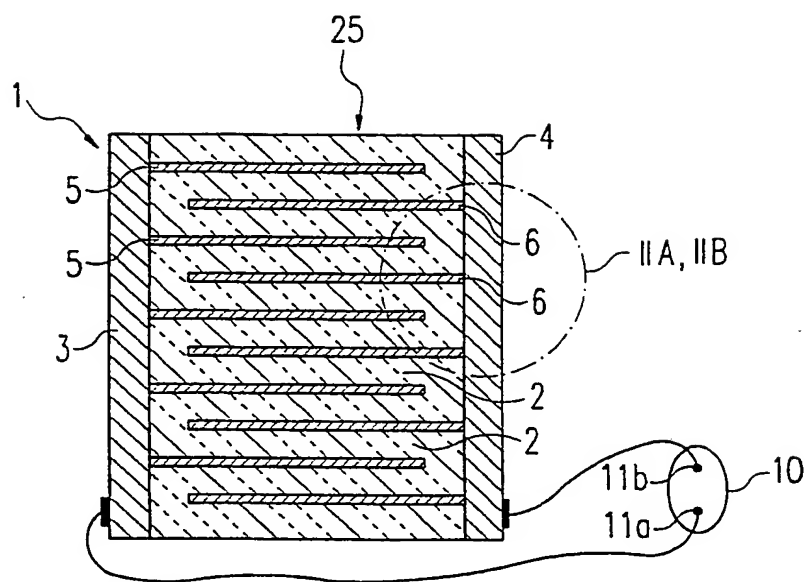
Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Aktor (1) mit
- einer Vielzahl von Scheiben (2) aus piezoelektrischem
15 Material, die zu einem Stapel (25) in einer Stapelrichtung
angeordnet sind,
- einer Vielzahl von flächigen Innenelektroden (5, 6), die
mit den Scheiben (2) aus piezoelektrischem Material
alternierend angeordnet sind,
20 - wenigstens zwei entlang der Stapelrichtung an der
Außenseite des Stapels (25) aufgebrachtten Außenelektroden
(3,4), wobei die Innenelektroden (5, 6) alternierend mit
jeweils einer der Außenelektroden (3,4) über einen
Kontaktbereich verbunden sind,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß die Außenelektroden (3, 4) in Form einer Beschichtung
aus einem elastischen, elektrisch leitfähigen
Polymermaterial (15) auf der Außenseite des Stapels (25)
aufgebracht sind.
- 30
2. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß das piezoelektrische Material ein Bleizirkonat-
Bleititanat-System (PZT-System) ist.
- 35
3. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß das elastische, elektrisch leitfähige Polymermaterial
(15) mit metallischem Füllstoff dotiert ist.

4. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Beschichtung aus dem elastischen, elektrisch
5 leitfähigen Polymermaterial (15) eine entlang einer
Stapelrichtung abnehmende Dicke aufweist, wobei eine
Steuerspannungsquelle (10) mit dem dicken Ende (21) der
Beschichtung verbindbar ist.
- 10 5. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß in oder an dem als Beschichtung aufgetragenen
elastischen, elektrisch leitfähigen Polymermaterial (15)
wenigstens ein metallisches Leitelement (12, 14, 23)
15 vorgesehen ist.
6. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß das metallische Leitelement (14) entlang einer
20 Stapelrichtung eine sich verjüngende Breite aufweist, wobei
eine Steuerspannungsquelle (10) mit dem breiten Ende (19)
des metallischen Leitelements (14) verbindbar ist.
7. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß die Fläche des Kontaktbereichs zwischen Innenelektrode
(5, 6) und Außenelektrode (3, 4) durch Anordnung von Mitteln
(17) zur Oberflächenvergrößerung vergrößert ist.

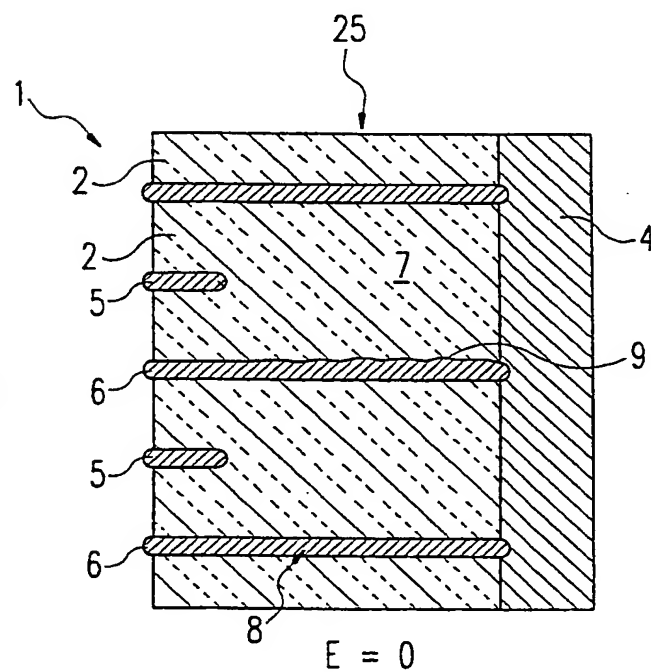
1/5

Fig. 1



Stand der Technik

Fig. 2A



Stand der Technik

2/5

Fig. 2B

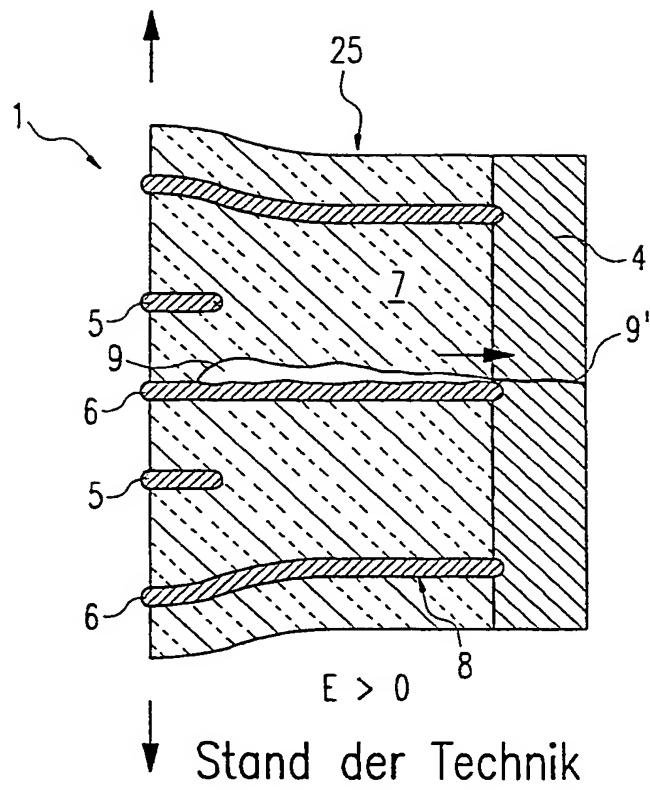
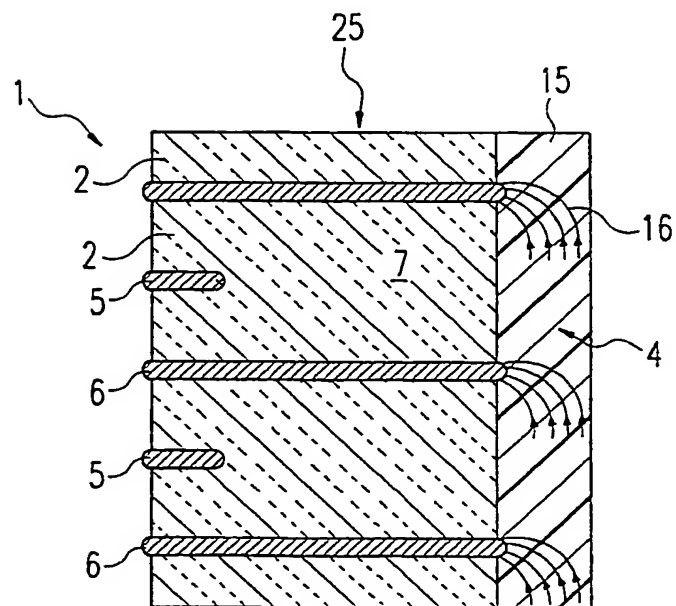


Fig. 3



3/5

Fig. 4

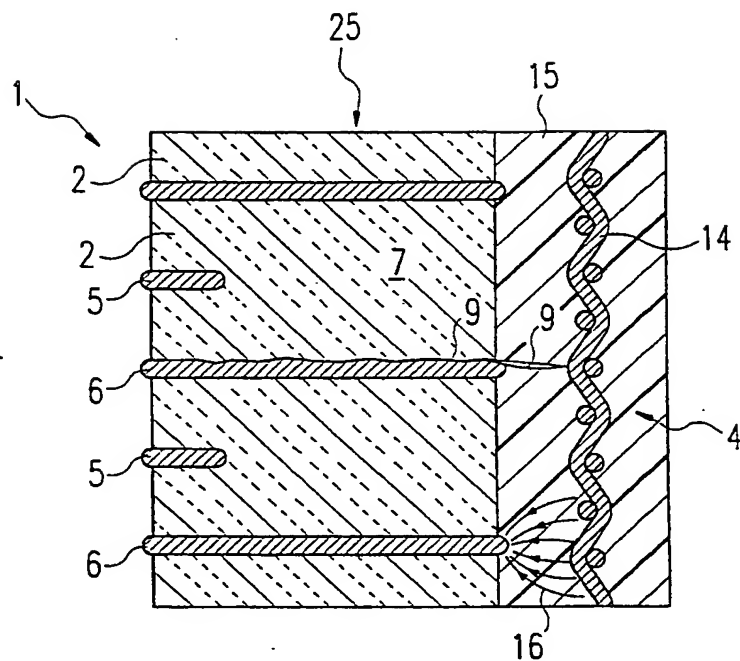
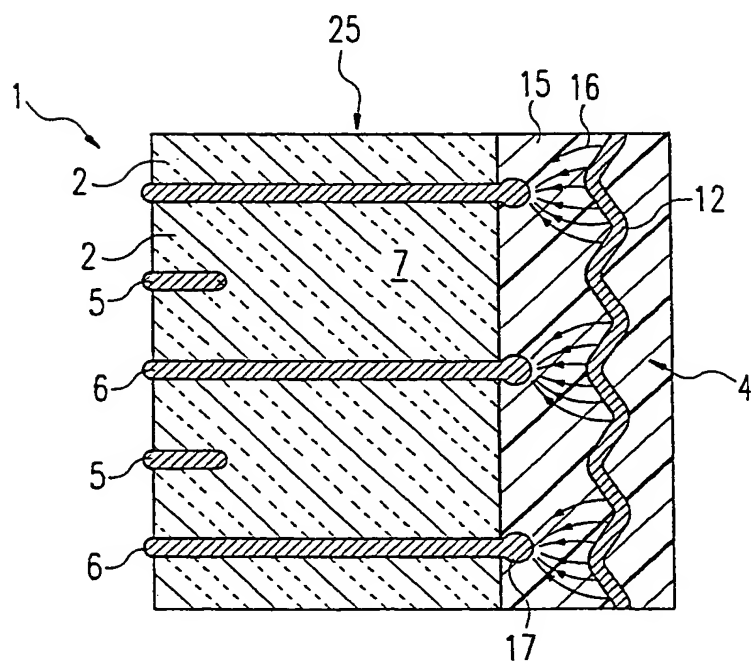


Fig. 5



4/5

Fig. 6

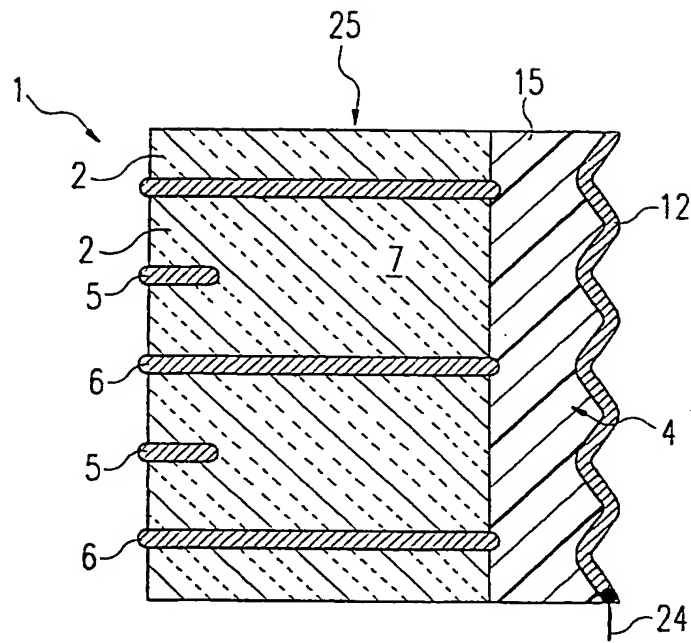
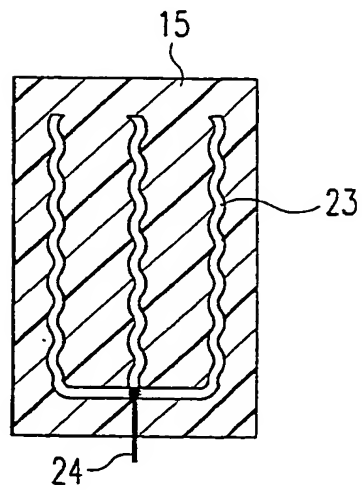


Fig. 7



5/5

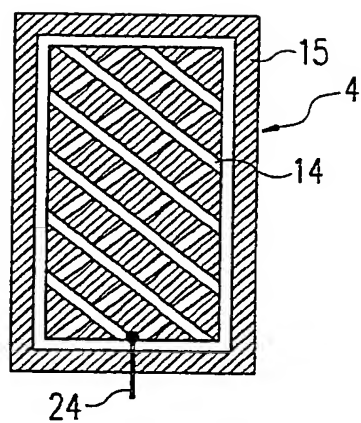


Fig. 8

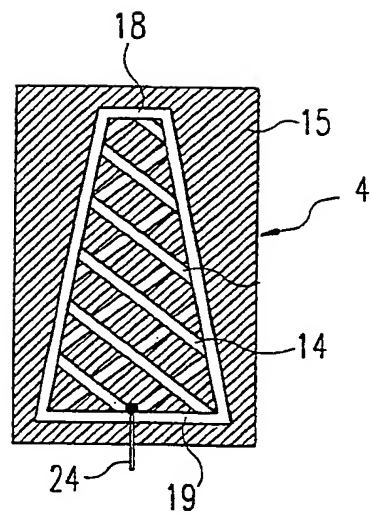


Fig. 9

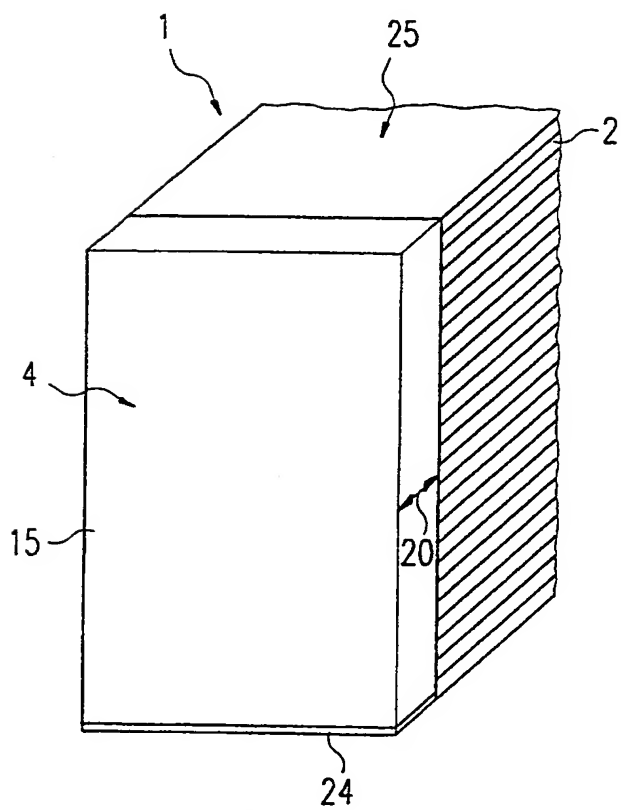


Fig. 10

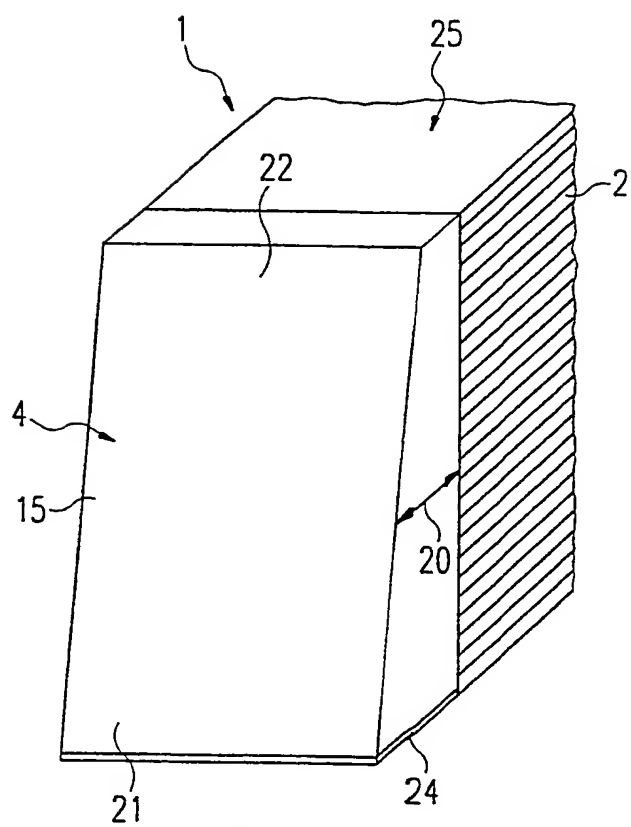


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No
PCT/DE 99/03283

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L41/083 H01L41/047

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 362 416 A (ROCKWELL INTERNATIONAL CORP) 11 April 1990 (1990-04-11) column 6, line 11-14 ---	1
X	US 5 406 164 A (OKAWA YASUO ET AL) 11 April 1995 (1995-04-11) column 8, line 32-38 ---	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 435 (E-683), 16 November 1988 (1988-11-16) & JP 63 169777 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 13 July 1988 (1988-07-13) abstract --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 February 2000

Date of mailing of the international search report

11/02/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pelsers, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern al Application No
PCT/DE 99/03283

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 211 (E-622), 16 June 1988 (1988-06-16) & JP 63 009168 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 14 January 1988 (1988-01-14) abstract	1
X	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1995, no. 01, 28 February 1995 (1995-02-28) & JP 06 296048 A (BROTHER IND LTD), 21 October 1994 (1994-10-21) abstract -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Application No
PCT/DE 99/03283

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0362416 A	11-04-1990	US 4775815 A	04-10-1988
US 5406164 A	11-04-1995	JP 6350156 A	22-12-1994
		JP 7050435 A	21-02-1995
JP 63169777 A	13-07-1988	NONE	
JP 63009168 A	14-01-1988	NONE	
JP 06296048 A	21-10-1994	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03283

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01L41/083 H01L41/047

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehorende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 362 416 A (ROCKWELL INTERNATIONAL CORP) 11. April 1990 (1990-04-11) Spalte 6, Zeile 11-14 ---	1
X	US 5 406 164 A (OKAWA YASUO ET AL) 11. April 1995 (1995-04-11) Spalte 8, Zeile 32-38 ---	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 435 (E-683), 16. November 1988 (1988-11-16) & JP 63 169777 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 13. Juli 1988 (1988-07-13) Zusammenfassung --- -/-	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Februar 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/02/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pelsers, L

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PCT/DE 99/03283

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 211 (E-622), 16. Juni 1988 (1988-06-16) & JP 63 009168 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 14. Januar 1988 (1988-01-14) Zusammenfassung ---	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1995, no. 01, 28. Februar 1995 (1995-02-28) & JP 06 296048 A (BROTHER IND LTD), 21. Oktober 1994 (1994-10-21) Zusammenfassung -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03283

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0362416 A	11-04-1990	US 4775815 A	04-10-1988
US 5406164 A	11-04-1995	JP 6350156 A	22-12-1994
		JP 7050435 A	21-02-1995
JP 63169777 A	13-07-1988	KEINE	
JP 63009168 A	14-01-1988	KEINE	
JP 06296048 A	21-10-1994	KEINE	